

## PENGUNAAN SISTEM AIR CYCLE SEBAGAI SISTEM AC MOBIL TOYOTA KIJANG INNOVA

Agus Suprihadi<sup>1</sup>, Syarifudin<sup>2</sup>

Email: agussuprihadi08@gmail.com

<sup>1,2</sup>DIII Teknik Mesin Politeknik Harapan Bersama  
Jalan Mataram No.9 Kota Tegal

### Abstrak

Kebutuhan akan kondisi udara yang nyaman pada saat ini nampaknya sudah merupakan kebutuhan yang tidak bisa dipisahkan dari kehidupan manusia, terutama pada kendaraan seperti pada mobil, bus, kereta, pesawat, dll. Upaya manusia untuk menciptakan kondisi yang nyaman diantaranya dengan menggunakan sistem *Air Conditioning (AC)*. Definisi dari AC adalah suatu proses pengkondisian udara dimana udara itu didinginkan, dikeringkan, dibersihkan dan disirkulasikan yang selanjutnya jumlah dan kualitas dari udara yang dikondisikan tersebut di kontrol. Pengontrolan itu meliputi temperatur, kelembaban dan volume udara pada setiap kondisi yang diinginkan. Pemakaian sistem AC pada mobil bertujuan untuk mempertahankan temperatur udara di dalam mobil pada kondisi nyaman khususnya bagi pengemudi dan penumpang. Selain itu, pemasangan AC mobil juga dapat bermanfaat untuk menghindari terjadinya pengembunan pada kaca mobil ketika musim hujan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan sistem refrigerasi siklus udara (*air cycle*) sebagai sistem AC mobil pada kendaraan penumpang. Analisis komponen sistem bertujuan untuk menentukan spesifikasi dari komponen utama sistem yaitu kompresor, penukar kalor, turbin dan kipas penghisap dengan mempertimbangkan keterbatasan ruang dalam kendaraan penumpang. Kajian ini meliputi analisis jenis siklus yang sesuai beserta komponen-komponennya, beban pendinginan, serta konsumsi energi dari sistem yang digunakan. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh daya teoritis sistem sebesar 1821,6 W dan COP sebesar 2,44.

**Kata Kunci :** *Air Cycle, Kijang Inova*

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan akan kondisi udara yang nyaman pada saat ini nampaknya sudah merupakan kebutuhan yang tidak bisa dipisahkan dari kehidupan manusia, terutama pada kendaraan seperti pada mobil, bus, kereta, pesawat, dll. Upaya manusia untuk menciptakan kondisi yang nyaman diantaranya dengan menggunakan sistem *Air Conditioning (AC)*. Definisi dari AC adalah suatu proses pengkondisian udara dimana udara itu didinginkan, dikeringkan, dibersihkan dan disirkulasikan yang selanjutnya jumlah dan kualitas dari udara yang dikondisikan tersebut di kontrol. Pengontrolan itu meliputi temperatur, kelembaban dan volume udara pada setiap kondisi yang diinginkan. Pemakaian sistem AC pada mobil bertujuan untuk mempertahankan temperatur udara di dalam mobil pada kondisi nyaman khususnya bagi pengemudi dan penumpang. Selain itu, pemasangan AC mobil juga dapat bermanfaat untuk menghindari terjadinya

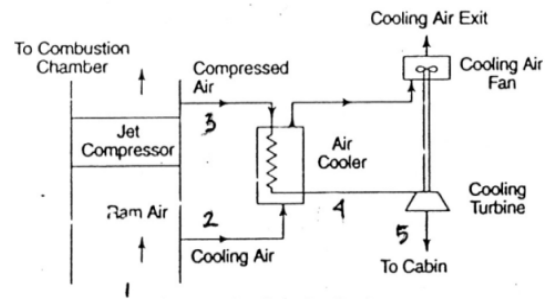
pengembunan pada kaca mobil ketika musim hujan<sup>[1]</sup>

Saat ini sistem AC mobil yang banyak digunakan adalah sistem refrigerasi kompresi uap (*vapour cycle*) yang menggunakan refrigeran jenis HCFC dan HFC sebagai fluida kerjanya. Alasan mengapa dipilih sistem refrigerasi *vapour cycle* karena sistem ini memiliki efisiensi energi yang lebih baik daripada sistem yang lainnya. Namun seiring dengan kesadaran akan bahaya lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan refrigeran jenis HCFC dan HFC dan seiring dengan meningkatnya pemanasan global, maka upaya alternatif untuk mengganti dengan sistem refrigerasi yang lebih ramah lingkungan, aman, dan dapat dipakai terus-menerus dimasa yang akan datang, mulai dilakukan diantaranya dengan mempertimbangkan penggunaan sistem refrigerasi siklus udara (*air cycle*). Sistem refrigerasi *air cycle* memanfaatkan udara lingkungan sebagai fluida kerjanya.

Udara lingkungan adalah udara atmosfer standar pada temperatur  $30^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 1,01325 bar. Berdasarkan penjelasan di atas maka penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan sistem refrigerasi *air cycle* sebagai sistem AC mobil pada kendaraan penumpang. Kendaraan penumpang yang dijadikan sampel dalam kajian ini adalah kijang inova<sup>[2]</sup>.

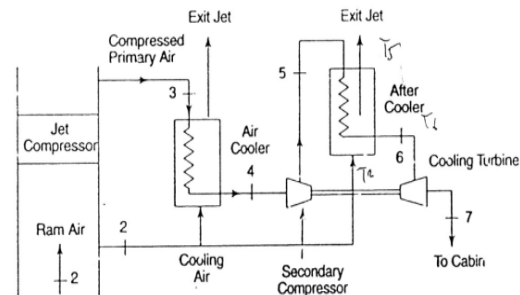
Sistem refrigerasi siklus udara adalah sistem refrigerasi yang menggunakan udara (R792) sebagai refrigeran. Kelebihan sistem ini dibandingkan dengan sistem refrigerasi kompresi uap adalah udara sebagai refrigeran sangat mudah didapat, tersedia dalam jumlah yang banyak, tidak menimbulkan masalah lingkungan dan lebih aman. Saat ini, karena pertimbangan teknis, sistem refrigersi siklus udara baru diaplikasikan pada sistem pengkondisian udara untuk pesawat terbang, sedangkan untuk mobil dan kendaraan darat lainnya, masih mengandalkan sistem refrigerasi kompresi uap. Ada 4 jenis sistem refrigerasi siklus udara yang umum digunakan dalam pesawat terbang, yaitu sistem sederhana (*simple system*), sistem *bootstrap*, sistem *regenerative*, dan sistem *reduced ambient*. Berikut ini penjelasan singkat dari keempat sistem tersebut<sup>[3]</sup>

Sistem sederhana (*simple system*) seperti diperlihatkan pada Gambar 1, menggunakan sebuah kompresor, sebuah penukar kalor, sebuah kipas penghisap, dan sebuah turbin/ekspander. Udara setelah dikompresi didinginkan dalam penukar kalor kemudian diekspansikan dalam turbin pendingin. Kerja yang dihasilkan oleh turbin digunakan untuk menggerakkan kipas yang mengalirkan udara pendingin dari ram air melalui penukar kalor. Udara keluar dari turbin pada tekanan sedikit di atas tekanan kabin



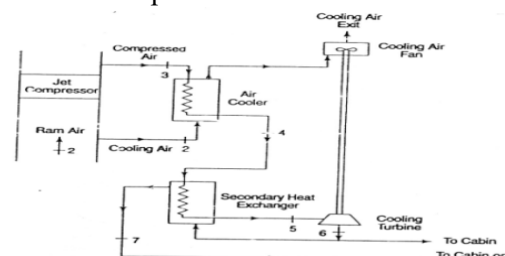
**Gambar 1.** Sistem sederhana

Sistem *regenerative* (Gambar 3), juga memiliki dua buah penukar kalor tetapi tidak menggunakan udara ram untuk mendinginkan penukar kalor kedua. Ini merupakan modifikasi dari sistem sederhana dengan tambahan sebuah penukar kalor sekunder dimana udara primer didinginkan di dalamnya menggunakan sebagian udara dari hasil ekspansi turbin<sup>[4]</sup>



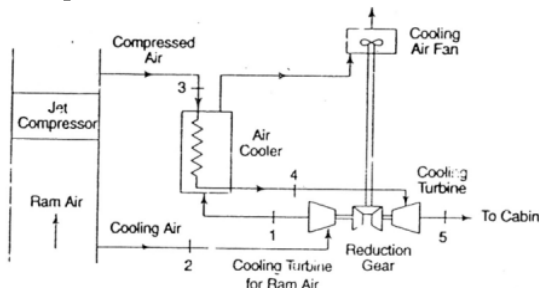
**Gambar 2.** Sistem *bootstrap*

Sistem *regenerative* (Gambar 3), juga memiliki dua buah penukar kalor tetapi tidak menggunakan udara ram untuk mendinginkan penukar kalor kedua. Ini merupakan modifikasi dari sistem sederhana dengan tambahan sebuah penukar kalor sekunder dimana udara primer didinginkan di dalamnya menggunakan sebagian udara dari hasil ekspansi turbin.



**Gambar 3.** Sistem *regenerative*

Sistem *reduced ambient* memiliki satu penukar kalor, satu kipas, dan dua buah turbin ekspansi. Satu turbin di aliran udara kabin dan satu lagi di aliran udara pendingin dari ram air. Keduanya dihubungkan dengan poros untuk menggerakkan kipas. Sistem ini bagus untuk semua aplikasi kecuali pesawat berkecepatan tinggi karena temperature udara ram yang terlalu tinggi. Turbin pendingin menurunkan temperature udara pendingin sampai level temperature static udara lingkungan. Dengan demikian udara primer dapat didinginkan sampai di bawah temperature stagnasi,  $T_2$  dan sedikit di atas temperature static,  $T_1$ .



**Gambar 4.** Sistem *reduced ambient*

Dari uraian di atas dan dengan mempertimbangkan keterbatasan ruang dalam kendaraan penumpang, maka dalam kajian ini sistem yang dipilih adalah sistem sederhana. Skema rancangan sistem yang dikaji diperlihatkan pada Gambar 5.

## 2. Metode Penelitian

Analisis komponen sistem bertujuan untuk menentukan spesifikasi dari komponen utama sistem yaitu kompresor, penukar kalor, turbin dan kipas penghisap dengan mempertimbangan keterbatasan ruang dalam kendaraan penumpang. Hal ini sangat penting karena terbatasnya ruang kendaraan akan membatasi ukuran dan spesifikasi dari komponen yang digunakan yang berarti juga membatasi performa dari masing-masing komponen dan akan berpengaruh pada performa sistem keseluruhan.

### 1. Kompresor

Kompresor berfungsi menaikkan tekanan udara lingkungan sampai tekanan tertentu sesuai dengan kapasitas

pendinginan yang diinginkan. Pemilihan jenis kompresor didasarkan pada tekanan dan kapasitas udara yang diinginkan. Dalam sistem refrigerasi siklus udara, perbandingan kompresi kompresor dibatasi 3 sampai 4 untuk kompresor satu tingkat. Dari berbagai jenis kompresor yang ada, kompresor sentrifugal adalah jenis yang paling sesuai untuk sistem yang dikaji. Selain perbandingan tekanan yang sesuai dengan sistem, yaitu 4 : 1, kompresor sentrifugal juga memiliki bentuk yang ringkas sehingga memenuhi pertimbangan ruang kendaraan.

### 2. Penukar kalor

Komponen ini berfungsi menurunkan temperatur udara setelah dikompresi sampai mendekati temperatur udara lingkungan. Kemampuan sebuah penukar kalor untuk menurunkan temperatur ditentukan oleh temperatur fluida pendingin dan nilai efektifitasnya. Fluida pendingin yang digunakan dalam sistem ini adalah udara lingkungan pada temperature rata-rata 30°C sedangkan efektifitas penukar kalor tergantung pada jenis dan ukurannya. Selain temperatur dan efektifitas, penurunan tekanan pada sisi udara panas dan sisi udara dingin juga merupakan parameter yang harus dipertimbangkan. Penurunan tekanan pada sisi udara panas akan menentukan harga dari tekanan aktual udara keluar dari penukar kalor. Sedang penurunan tekanan pada sisi udara pendingin akan menentukan jenis serta ukuran dari kipas penghisap yang digunakan. Untuk memenuhi persyaratan ruang, jenis penukar kalor yang sesuai adalah penukar kalor sirip plat (*Plate-Fin Heat Exchanger*).

### 3. Turbin

Turbin berfungsi mengekspansikan udara setelah diturunkan temperaturnya dalam penukar kalor sehingga tekanannya turun sampai pada tekanan dalam ruang kendaraan atau sama dengan 1 atm. Jenis yang sesuai adalah turbin radial karena memiliki bentuk yang ringkas.

### 4. Kipas penghisap

Kipas berfungsi mengalirkan udara pendingin melalui penukar kalor. Spesifikasinya dipilih agar dapat mengatasi tahanan aliran dalam saluran dan penukar kalor pada laju aliran tertentu.

Dalam mendesain AC mobil untuk kendaraan penumpang, spesifikasi kendaraan merupakan parameter penting karena berkaitan dengan beban pendinginan yang dibutuhkan serta kemampuan memberi daya untuk kebutuhan sistem. Spesifikasi ini meliputi daya mesin, kapasitas tempat duduk, volume ruang, fitur elektronik yang ada di kabin. Berdasarkan data yang diperoleh dari PT. Toyota Astra Motor, maka spesifikasi teknik Kijang Inova disajikan dalam Tabel 1 dan 2. Kapasitas tempat duduk maksimum sebanyak 8 orang dan fitur elektronik yang terdiri dari *warning signal indicator*, *DIN audio CD*, *MP3*, *Speaker*.

**Tabel 1. Spesifikasi Mesin Kijang Inova**

	E Std Gasoline Minor Change	E M/T Gasoline	E Std Diesel Minor Change
Tipe Mesin	4 IL, 16 Katup, DOHC, WT-i	4 IL, 16 Katup, DOHC, WT-i	4 IL, 16 Katup, DOHC, Turbo Direct Injection
Isi Silinder (cc)	1998	1998	2494
Diameter x Langkah (mm x mm)	86 x 86	86 x 86	92 x 93,8
Daya Maksimum (ps/rpm)	136/5600	136/5600	102/3600
Torsi Maksimum (Nm/rpm)	18,6/4000	18,6/4000	20,4/1400-3200
Bahan Bakar - Sistem	Elektronik Fuel Injection	Elektronik Fuel Injection	Common Rail Type
Bahan bakar - Kapasitas Tangki (L)	55	55	55
Bahan Bakar - Jenis Mesin	Bensin - 1 TR-FE (MT)	Bensin - 1 TR-FE (MT)	Diesel - 2 KD-FTV (M/T)

(Sumber: <http://www.toyota.co.id>, 20 Januari 2015 pk. 19.30 wib)

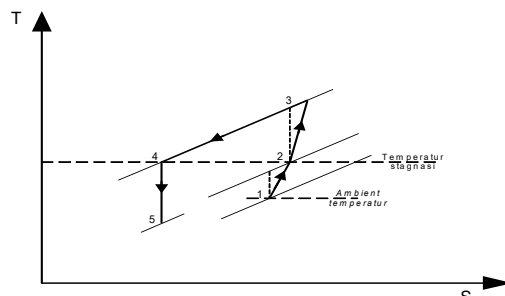
**Tabel 2. Spesifikasi Dimensi Kijang Inova**

	E Std Gasoline Minor Change	E M/T Gasoline	E Std Diesel Minor Change
Jarak Sumbu / mm	2750	2750	2750
Panjang / mm	4555	4555	4555
Lerbar / mm	1770	1770	1770
Tinggi / mm	1745	1745	1745
Jarak Pijak Depan / mm	1510	1510	1510
Jarak Pijak Belakang / mm	1510	1510	1510
Berat Kosong / Kg	1520	1595	1520

(Sumber: <http://www.toyota.co.id>, 20 Januari 2009 pk. 19.30 wib)

Pada analisa ini akan digunakan beberapa asumsi yang akan mendukung perhitungan-perhitungan secara teoritis. Asumsi-asumsi yang diambil adalah:

1. Temperatur lingkungan (*ambient temperatur*) :  $T_1 = 30^\circ\text{C} = 303\text{ K}$
2. Tekanan lingkungan (*ambient temperatur*) :  $P_1 = 1,01325\text{ bar}$
3. Kecepatan rata-rata mobil:  $C = 60\text{ km/jam} = 16,67\text{ m/s}$
4. Perbandingan kompresi:  $r = 3$
5. Temperatur kabin:  $T_i = 22^\circ\text{C} = 295\text{ K}$



**Gambar 5. Siklus Termodinamika**

Berdasarkan siklus termodinamika maka data-data teoritis dapat dihitung sebagai berikut:

Temperatur stagnasi:

$$T_2 = T_1 + \frac{C^2}{2Cp}$$

$$= 303 + \frac{(16,67)^2}{2(1,005) \cdot 10^3} = 303,14 \text{ K}$$

Tekanan stagnasi:

$$P_2 = P_1 \cdot \left[ \frac{T_2}{T_1} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$= 1,01325 \cdot \left[ \frac{303,14}{303} \right]^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 1,01489 \text{ bar}$$

Perbandingan kompresi:

$$r = \frac{P_3}{P_2}$$

$$P_3 = 3,04467 \text{ bar}$$

Temperatur outlet kompresor:

$$T_3 = T_2 \cdot \left[ \frac{P_3}{P_2} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$= 303,14 \cdot \left[ \frac{3,04467}{1,01489} \right]^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 415,05 \text{ K}$$

Data-data yang lainnya:

$$T_4 = T_2 = 303,14 \text{ K}$$

$$P_4 = P_3 = 3,04467 \text{ bar}$$

$$P_5 = 1,01325 \text{ bar}$$

Temperatur outlet turbin:

$$T_5 = T_4 \cdot \left[ \frac{P_5}{P_4} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$= 303,14 \cdot \left[ \frac{1,01489}{3,04467} \right]^{\frac{1,4-1}{1,4}}$$

$$= 221,3 \text{ K}$$

Efek refrigerasi:

$$q_o = Cp \cdot (T_i - T_s)$$

$$= 1,005 \cdot (295 - 221,3)$$

$$= 74,07 \text{ kJ/kg}$$

Laju massa udara yang dialirkan:

$$\dot{m} = \frac{Q_o}{q_o}$$

$$= \frac{4,64}{74,07}$$

$$= 0,06 \text{ kg/s}$$

Kerja yang dilakukan oleh kompresor dan turbin:

$$w_k = Cp \cdot (T_3 - T_2)$$

$$= 1,005 \cdot (415,05 - 303,14)$$

$$= 112,47 \text{ kJ/kg}$$

$$w_T = Cp \cdot (T_4 - T_5)$$

$$= 1,005 \cdot (303,14 - 221,3)$$

$$= 82,25 \text{ kJ/kg}$$

$$w_r = Cp \cdot (T_2 - T_1)$$

$$= 1,005 \cdot (303,14 - 303)$$

$$= 0,14 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{net} = (w_k + w_r) - w_T$$

$$= (112,47 + 0,14) - 82,25$$

$$= 30,36 \text{ kJ/kg}$$

Daya yang dihasilkan:

$$kW = \dot{m} \cdot w_{net}$$

$$= 0,06 \cdot (30,36)$$

$$= 1,8216 \text{ kW}$$

$$= 1821,6 \text{ W}$$

Koefisien unjuk kerja sistem:

$$COP = \frac{q_o}{w_{net}}$$

$$= \frac{74,07}{30,36}$$

$$= 2,44$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

Beban pendinginan dalam ruang kendaraan bersumber dari penumpang, radiasi matahari, fitur-fitur elektronik dan penerangan dalam ruang kendaraan.

#### 1. Beban kalor dari penumpang

Dari data spesifikasi teknik diketahui kapasitas penumpang maksimum 8 orang. Kemudian dari Tabel 19.1 (Arora, 1981:505) untuk aktifitas penumpang duduk dan temperatur bola kering di dalam ruang kendaraan  $22^{\circ}\text{C}$ , diperoleh kalor sensible dan kalor laten per orang adalah 80 W dan 35 W. Sehingga total beban kalor dari penumpang adalah,

$$Q_o = (80 + 35) 8 = 920 \text{ W}$$

#### 2. Radiasi Matahari

Dari tabel 18.4 (Arora, 1981: 638) pada temperatur lingkungan  $32^{\circ}\text{C}$  diperoleh harga insulasi sebesar  $400 \text{ W/m}^2$ . Dari data dimensi Kijang Inova, diperoleh luas permukaan yang menerima radiasi:

$$A = p \times l$$

$$= 4,555 \times 1,770 = 8,06 \text{ m}^2$$

Sehingga beban kalor akibat radiasi matahari :

$$Q = 400 \times 8,06 = 3224 \text{ W}$$

#### 3. Fitur-fitur elektronik dan penerangan

Fitur-fitur elektronik dari Kijang Inova antara lain, warning signal indicator, DIN audio CD, MP3, 6 speaker, yang kesemuanya diperkirakan memberikan beban kalor 500 W.

Dengan demikian total beban pendinginan adalah

$$Q = 920 + 3224 + 500 = 4644 \text{ W} = 4,644 \text{ kW}$$

#### 4. Kesimpulan

Secara teoritis, sistem refrigerasi siklus udara sebagai sistem AC mobil pada kendaraan penumpang dapat digunakan. Berdasarkan hasil kajian terhadap rancangan sistem di atas, diketahui kebutuhan daya teoritis sistem sebesar 1,8216 kW masih dapat ditanggulangi oleh daya maksimum yang dimiliki oleh mobil yaitu 101,5 kW (136 ps) dan COP sebesar 2,44. Pada kondisi aktual, dengan memperhitungkan efisiensi kompresor dan turbin, serta efektifitas dan penurunan tekanan pada penukar kalor, kebutuhan daya cenderung akan meningkat sehingga pemilihan komponen harus dilakukan dengan cermat.

Untuk memastikan kelayakan penggunaan sistem refrigerasi siklus udara untuk sistem AC mobil pada kendaraan penumpang, perlu kajian lebih dalam melalui demonstrasi dan pengukuran terhadap performa sistem aktual.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Arora, C.P., 1981, *Refrigeration and Air Conditioning*, McGraw-Hill Book Co-Singapore.
- [2] Kakac, S., Liu, H., 1997, *Heat Exchanger: Selection, Rating, and Thermal Design*, CRC Press LLC.
- [3] Sayers, A.T., 1992, *Hydraulic and Compressible Flow Turbomachines*, McGraw-Hill Book Co-Singapore.
- [4] <http://www.toyota.co.id>, 20 Januari 2009 pk. 19.30 wib.